

田小毅,朱承瑛,张振东,等,2018.长江江苏段江面雾的特征和预报着眼点[J].气象,44(3):408-415.

长江江苏段江面雾的特征和预报着眼点^{*}

田小毅^{1,2} 朱承瑛^{1,3} 张振东^{1,2} 鲍 婧^{1,2}

1 中国气象局交通气象重点开放实验室,南京 210008

2 江苏省气象服务中心,南京 210008

3 江苏省气象科学研究所,南京 210008

提 要: 利用2010—2013年长江江苏段沿线布设的36套自动气象站每分钟1次的能见度、相对湿度、温度、风向和风速等实况监测资料,对江面雾的时空分布特征和气象要素进行了统计分析,结果显示:江面雾主要发生于6、11和1月;主要形成于19时至次日07时,其中02—04时最多,结束于06—12时,持续时间以3~9 h为主。成雾时相对湿度基本在85%以上;主要的温度区间为春季5~19℃、夏季18~26℃、秋季7~23℃、冬季0~11℃;春、夏、秋三季风速都在 $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下,冬季风稍大些,甚至在 $6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右的风速下仍然会生成雾,春季以 $1\sim 2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的NNE—E为主;夏季以 $0.3\sim 1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的NNE—ESE为主;秋季以 $0.3\sim 2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的NNE—NE和E—ESE为主;冬季以 $1\sim 2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的NNE—NE和WNW为主。此外,对出雾时首站的能见度变化进行分析,发现稳定的江面雾形成之前也会形成明显的“象鼻形”先期振荡特征,这一特征给江面雾的预警预报提供了依据。

关键词: 江面雾,统计分析,“象鼻形”先期振荡,预报

中图分类号: P456.457

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.03.007

Characteristics and Forecasting Focus for River Fog in Jiangsu Section of Yangtze River

TIAN Xiaoyi^{1,2} ZHU Chengying^{1,3} ZHANG Zhendong^{1,2} BAO Jing^{1,2}

1 Key Laboratory of Transportation Meteorology, CMA, Nanjing 210008

2 Jiangsu Meteorological Service Center, Nanjing 210008

3 Jiangsu Institute of Meteorological Sciences, Nanjing 210008

Abstract: Using the minutely data including visibility, relative humidity, temperature and wind speed of 36 automatic weather stations along the Yangtze River in Jiangsu Province during 2010—2013, the characteristics of river fogs are analyzed. The results show that river fog mainly occurs in June, November and January, formed from 19:00 BT to the next 07:00 BT, during which the fog is the thickest in 02:00—04:00 BT and gets to end from 06:00 BT to 12:00 BT, so the fog duration is 3—9 h. When fog occurs, relative humidity is 85% or higher, temperature is 5—19℃ in spring, 18—26℃ in summer, 7—23℃ in autumn and 0—11℃ in winter. As for the wind speed, it is below $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ in spring, summer, autumn, and about $6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ in winter. Specifically, the fog tends to occur with the wind direction of NNE—E and wind speed $1\sim 2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ in spring, the wind direction of NNE—ESE and wind speed $0.3\sim 1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ in summer, the wind direction of NNE—NE and E—ESE, wind speed $0.3\sim 2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ in autumn, and the wind direction of NNE—NE and WNW, wind speed $1\sim 2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ in winter. In addition, by analyzing the visibility

^{*} 江苏省气象局科研基金项目(KM201405)、2016年中国气象局小型建设项目“长江黄金水道及近海航运交通气象服务系统建设”和北极阁基金项目(BJG201706)共同资助

2017年4月6日收稿; 2017年12月26日收修定稿

第一作者:田小毅,主要从事交通气象预报与服务研究. Email:yxt-2003@126.com

changes of the first station in the fog, we found that there are obvious “trunk-like” characteristics before river fogs develop. Such features could provide the basis for the operation of early warning and forecasting of river fogs.

Key words: river fog, statistical analysis, “trunk-like” fluctuating forepart, forecasting

引言

长江是我国最大的内陆黄金水道,是长江流域综合运输体系的主骨架,是长江沿江经济快速发展和沿江产业带形成的重要支撑,是促进我国东、中、西部地区经济协调发展的重要纽带,也是实现经济社会可持续发展的重要战略资源。长江水系随着长江深水航道的治理和船舶标准化、大型化的发展,长江水道江苏段的通行能力将达到15亿吨左右,相当于沪宁铁路目前运量的19倍。然而水上交通不安全因素很多,据海事部门统计,有60%~70%的事故是由不利天气条件引发的。

对长江航运,最主要的不利天气是强风和大雾。据《中国气候总论》(张家诚,1991)给出的我国年平均雾日分布图可见,长江沿线有两个多雾区,宜昌以上为一多雾区,有些地方的平均年雾日(能见度<1000 m)超过50 d。自南京至出海口也是一个多雾区,平均年雾日25~50 d。每年由于大雾等恶劣灾害性天气所造成的江上船毁人亡的事故时有发生,给人民的生命财产造成了巨大的损失。

江苏海事局与江苏省气象局联手,2007年在长江的江阴段上布设6套交通气象自动监测站,到2009年5月已经在整个长江江苏段全线364 km江段上共布设36套自动监测站,对能见度、温度、相对湿度、风向、风速等要素进行监测,并获取每分钟更新一次的实时气象信息。2006年重庆市气象局在三峡库区沿长江的码头、重点地段、气象观测场也安装了能见度观测站,陈正洪等(2014)带领团队对长江山区的雾情从调查研究开始(胡昌琼等,2014),对雾的时空分布特征(代娟等,2015)、插值模拟(王林等,2015a)、能见度随高度的变化(白永清等,2015),以及从气象因子和地理因子(王林等,2015b)等方面进行研究,还有学者利用长江沿岸气象台站资料(俞香仁等,1990;陈乾金等,1997;钱敏伟和雷孝恩,1990;石红艳等,2004)对长江重庆段和湖北段进行数值模拟研究;还有许多学者从预报思路方法和成因等角度对雾进行研究(陈东辉等,2017;许爱华等,

2016;周福等,2015;焦圣明等,2016;赵玉广等,2015),可以说有许多值得我们借鉴的地方。但由于所处的地理位置和气候、地形的差异,雾形成的原因及特点也各不相同,因此,有必要对其进行研究。

本文基于长江江苏段沿线的交通气象监测系统开展江面雾特征和预报着眼点的研究,对提升长江江苏省江面雾的预报服务水平具有一定的推动作用,对水上交通气象灾害的防御、提高通行能力、减少或避免事故的发生、提高交通与气象部门的服务水平等具有重要的现实意义。

1 资料处理及说明

1.1 资料处理

本文选用2010年1月至2013年12月长江江苏段沿线布设的36套气象自动监测站的逐分钟气象数据,气象要素包括能见度、相对湿度、风速、风向、雨量和温度等。选取能见度<1000 m、持续时间>30 min、降雨量为0 mm(剔除因降水导致的能见度下降),且两站及两站以上出现能见度<1000 m作为一个雾日,用于雾的空间分布分析。雾日中的每个出雾站点作为一个样本处理,用于分析雾与气象要素的关系。

1.2 资料说明

自动气象监测站能见度仪器是由南京交通气象研究所自主研发的,其分辨率为1 m,允许的误差为±10%;其稳定性较好,有专门人员定期进行仪器设备的保养和维护。而且能见度资料在选择时已经剔除因外界干扰和自身故障所造成的能见度下降。

2 长江江面雾的时空分布特征

2.1 空间分布特征

长江江苏段的走向多变、途径两岸的地形复杂,给雾的预警预报增加了难度(图1)。长江自苏皖交

93.0%,其中又以07—10时消散最集中,占总次数71.1%。从持续时间来看(图5),江面雾以持续5~10 h 中长雾为主,占总次数的58.7%;0~4 h 的短雾次之,占总次数的25%;10 h 以上(不包括10 h)的长雾占总次数的16.3%。雾的持续时间主要集中在3~9 h,占总次数的74.3%。

3 江面雾与气象要素的关系

江面雾的发生、发展和消散与气象要素之间有着密切关联,需要进一步探究雾发生时长江沿线自动气象站气象要素的变化情况,以便提炼出雾的预报指标为今后的预报服务提供依据。

3.1 与风向关系

通过对江面雾的风向资料统计分析,发现出现大雾时风向以N—E为主,其中以NNE—ESE为主要风向,W和S出雾的概率较小。而不同季节成雾时的风向有一定的差别(图6),春季以NNE—E为

主;夏季以NNE—ESE为主;秋季以NNE—NE为主,其次为E—ESE;冬季以NNE—NE为主,其次为WNW。这主要是由于NNE—ESE所带来的海上水汽为雾的形成提供充足的水汽条件,而冬季中的W—WN主要是由于受高压控制,天气晴好,有利于夜间辐射降温,为辐射雾的形成提供有利条件。

3.2 与风速关系

统计大雾出现时瞬时风速,95.3%以上风速在 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下,90%以上风速在 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下;通过分季节统计(图7),发现春、夏、秋三季风速都在 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下,冬季风稍大些,甚至在 $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右的风速下仍然会生成雾。春季以 $1.1 \sim 2.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风速占比最多,达39%;夏季以 $0.3 \sim 1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 小风速占比最多,为39%;秋季以 $0.3 \sim 2.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风速为主,占总数的80.6%;冬季以 $1.1 \sim 2.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风速占比最多,达42%。

3.3 与相对湿度关系

雾是水汽在近地层空气凝结的产物,水汽饱和是其形成与发展不可缺少的条件之一。形成雾时的大气湿度应该是饱和的或者接近饱和的,但是有大量的凝结核存在时,相对湿度不一定达到100%时就能达到饱和而形成雾。

统计出雾时的相对湿度分布图(图8),发现出雾时相对湿度基本在80%以上,当相对湿度在85%以上时出雾的频率为95.3%。四季中当相对湿度在85%~95%时,雾发生概率随着湿度的增加而增加;秋季雾对相对湿度的要求较高,其次是春季,而夏季当相对湿度在85%~89%时仍有25%出雾比例;冬季在相对湿度 $<85\%$ 时,出雾的比例达7.2%,这可能与冬季空气质量较差有关。

3.4 与温度关系

统计出雾时温度资料,发现江面雾发生时最高温度在 30.2°C ,最低温度在 -1.6°C ,其余在 $-1 \sim 28^\circ\text{C}$,其中温度在 $0 \sim 25^\circ\text{C}$ 时江面雾发生频率为98.4%,可见江面雾发生时温度分布较广。分析不同季节江面雾出现时的温度(图9),发现春季温度在 $2.1 \sim 21.1^\circ\text{C}$,而温度在 $5 \sim 19^\circ\text{C}$ 时出雾频次达95%;夏季温度在 $17.6 \sim 30.2^\circ\text{C}$,温度在 $18 \sim 26^\circ\text{C}$

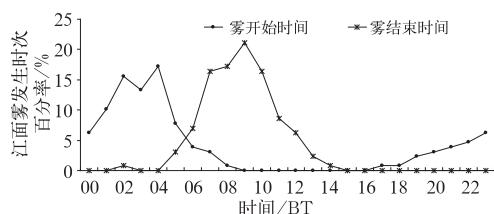


图4 长江江苏段江面雾的开始时间和结束时间分布图

Fig. 4 Distribution of starting time and ending time for river fog in Jiangsu section of Yangtze River

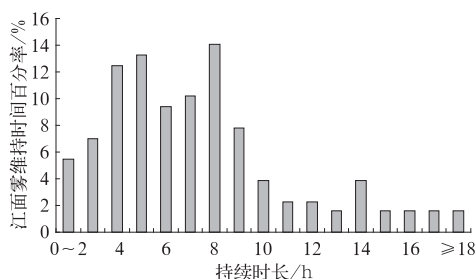


图5 长江江苏段江面雾维持时间所占比例

Fig. 5 Percentage of maintenance time for river fog in Jiangsu section of Yangtze River

时出雾频次达 96%；秋季温度在 $0\sim 25.8^{\circ}\text{C}$ ，温度在 $7\sim 23^{\circ}\text{C}$ 时出雾频次达 95%；冬季温度在 $-1.6\sim$

15.2°C ，温度在 $0\sim 11^{\circ}\text{C}$ 时出雾频次达 95%。

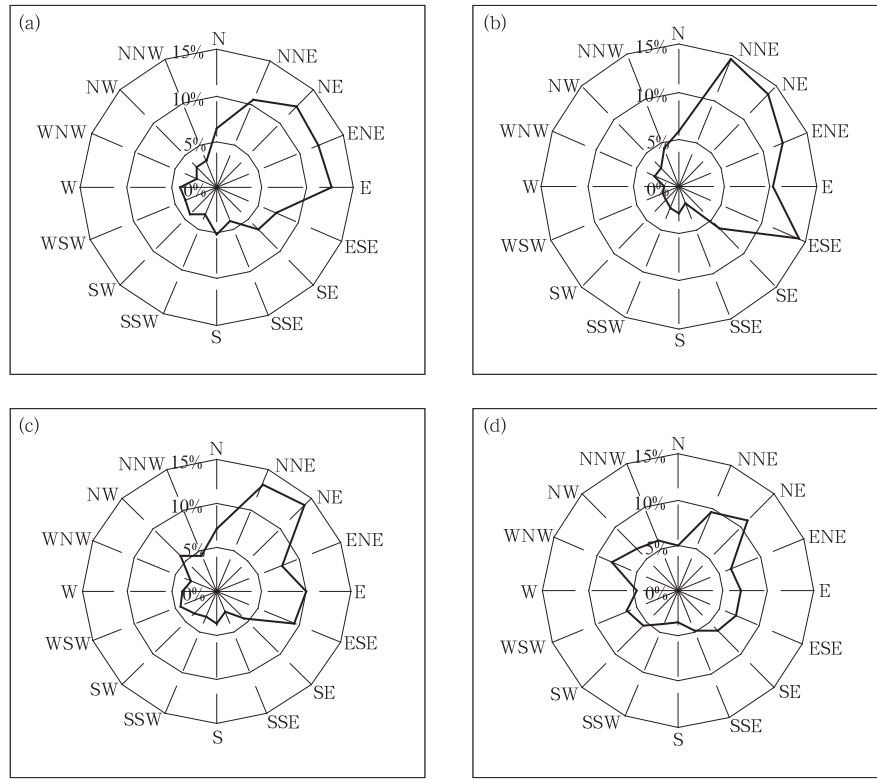


图6 长江江苏段江面雾不同季节风向分布特征

(a)春季, (b)夏季, (c)秋季, (d)冬季

Fig. 6 Distribution of wind direction during river fog processes in Jiangsu section of Yangtze River in different seasons

(a) spring, (b) summer, (c) autumn, (d) winter

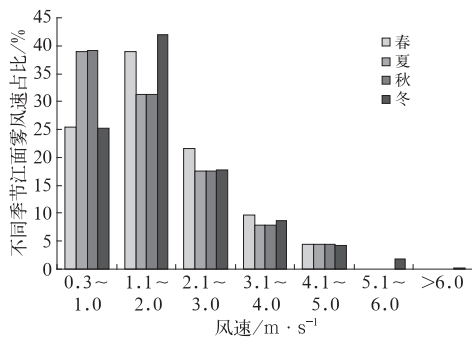


图7 长江江苏段江面雾不同季节风速分布

Fig. 7 Distribution of wind speed during river fog processes in Jiangsu section of Yangtze River in different seasons

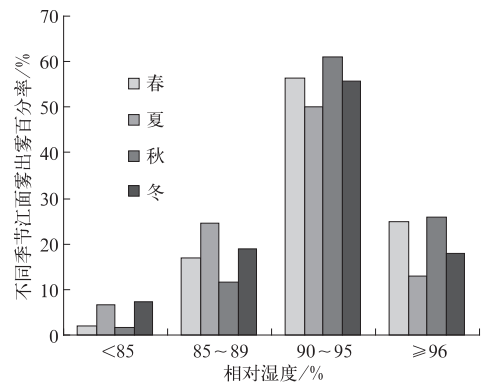


图8 长江江苏段不同季节江面雾出现时相对湿度分布图

Fig. 8 Distribution of humidity during river fog processes in Jiangsu section of Yangtze River in different seasons

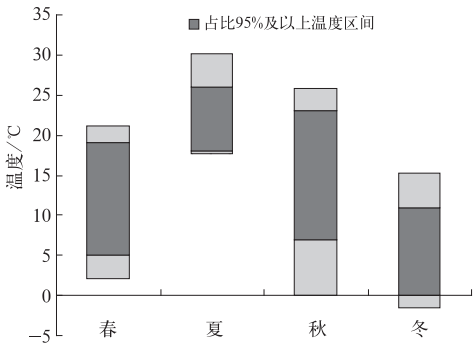


图 9 长江江苏段不同季节江面雾出现时温度分布图

Fig. 9 Distribution of temperature during river fog processes in Jiangsu section of Yangtze River in different seasons

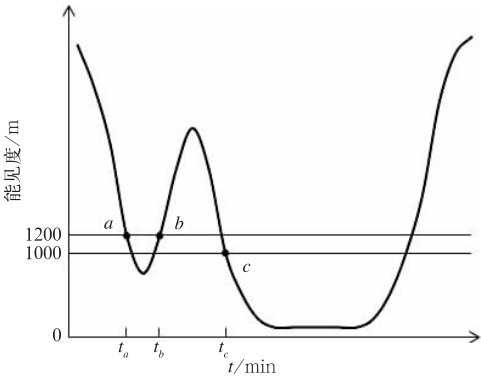


图 10 “象鼻形”先期振荡的概念模型

Fig. 10 Conceptual model of “trunk-like” fluctuating forefront

4 长江江苏段江面雾的预报着眼点

4.1 江面雾形成前能见度特征

根据对江面雾形成前能见度的变化特征分析,发现能见度在降至 1000 m 以下时不是一个稳定的过程,而是在 1000~1200 m 或 1000 m 以下反复波动,在雾体出现前存在一个“象鼻形”的先期振荡前兆,和公路、上海浦东机场低能见度浓雾具有相似特征(袁成松等,2007;田小毅等,2009;王博妮等,2016;袁炯和陈志豪,2013),其出现时间短,能见度值不是很低,但这是形成大雾的前奏,为江面雾的预报提供了一个具有实用价值的信息。

4.1.1 “象鼻形”先期振荡的概念模型

在长时间稳定的能见度<1000 m 江面雾出现时段(称其为真正的雾体)之前,能见度有一个形如象鼻的变化前奏,可用概念模型示意图(图 10)来表述。对 2010—2013 年长江江面雾 58 次大雾过程样本资料进行统计分析(1 min 一次的记录),“象鼻形”先期振荡的取样指标:能见度<1200 m,即从 a 点到 b 点。大雾过程(象体)的确定指标:能见度<1000 m,即 c 点之后。

4.1.2 先期振荡的特征

通过对 58 次江面雾稳定出现前的先期振荡统计分析,发现在成雾过程中,“象鼻形”前兆持续时间($t_b - t_a$)大多在 5~10 min,在 $t_b - t_a$ 时间段内能见度还不是很低(表 1),能见度在 1000~1200 m 有 5 个样本,占 8.6%;能见度在 800~1000 m 有 24 个样本,占 41.4%;能见度在 500~800 m 有 22 个样本,占 37.9%;能见度在 200~500 m 有 6 个样本,占 10.3%,仅一次个例中能见度<200 m,这说明能见度的前期振荡由于持续时间短、能见度还不是很低,不会造成长江航运安全的严重危害。

4.1.3 先期振荡与预报

对 58 次江面雾稳定出现前的先期振荡统计,距能见度稳定<1000 m 的间隔时间($t_c - t_b$)比较离散(表 2),最小 15 min,最大 180 min,以 15~60 min 占的比例较多,占 63.8%。当预报员发现这一前兆时,立刻向用户单位发布预警预报,这在真正的大雾出现前,为对方采取相应措施争取了宝贵的时间,对江面雾预报具有实用价值。

4.2 能见度下降类型

通过对 2010—2013 年长江江面雾过程中 36 个站能见度实况监测资料进行分析,将每次大雾过程中能见度稳定(能见度<1000 m,持续时间 \geq

表 1 长江江苏段江面雾前兆出现的频数

Table 1 Indiction and frequency of fog precursor in Jiangsu section of Yangtze River

能见度/m	<200	200~500	500~800	800~1000	1000~1200
频率/%	1.7	10.3	37.9	41.4	8.6

表 2 长江江苏段江面雾距先期振荡出现的时间间隔

$t_c - t_0 / \text{min}$	15~30	31~60	61~90	91~120	>120
频率/%	37.9	25.9	17.2	10.3	8.6

30 min) < 1000 m 的第一个站点定义为首站。分析首站能见度下降过程的特征, 将其分为 3 种类型(图 11), 分别是缓慢下降类(能见度在 2~3 h 以上从 3000 m 左右下降到 1000 m 以下)、快速下降类(能见度在几至十几分钟内从 3000 m 以上下降到 1000 m 以下)和有“象鼻形”前兆类, 其中出现“象鼻形”前兆占总次数的 45.0%。

4.3 指标站

为了做好长江江面雾的预报服务, 提高预报准确性, 把江面雾出现时的首站作为指标站。通过对 2010—2013 年大雾过程首站能见度资料分析, 统计首站出现的频次(图 12), 其中以丰乐桥四基地站出现的频次最高, 其次是启东中远海工站和江宁海事雷达站, 而且这 3 站又处于不同的区域。因此这 3 站可以分别作为长江江苏段中段、东段和西段江面雾的预报指标站。

5 结 论

本文通过对 2010—2013 年 4 年长江江苏段沿线布设 36 套自动气象站每分钟 1 次的能见度、相对湿度、风速、风向和温度等监测资料统计分析, 得出以下主要结论:

(1) 长江江苏段江面雾主要发生于 6、11 和 1 月; 主要形成于 19 时至次日 07 时, 其中 02—04 时最多, 结束于 06—12 时, 而且持续时间较长, 以 3~9 h 雾为主。

(2) 成雾时相对湿度基本在 85% 以上; 主要的温度区间为春季 5~19℃、夏季 18~26℃、秋季 7~23℃、冬季 0~11℃; 春、夏、秋三季风速都在 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下, 冬季风稍大些, 甚至在 $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右的风速下仍然会生成雾。春季以 $1 \sim 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的

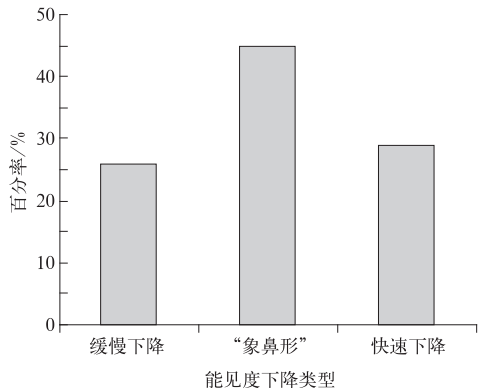


图 11 长江江苏段能见度下降类型所占比例

Fig. 11 Proportion of visibility decrease in Jiangsu section of Yangtze River

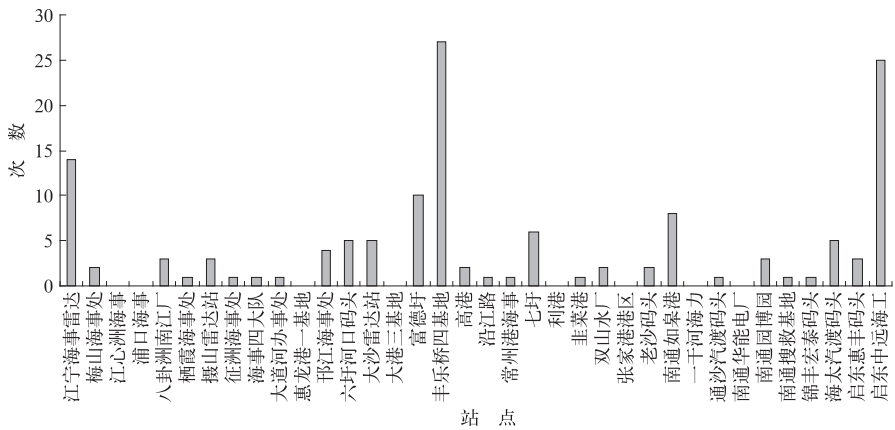


图 12 长江江苏段首先出现江面雾的站点频次(自西向东)

Fig. 12 Station frequency of the firstly seen river fog in Jiangsu section of Yangtze River (direction of W—E)

NNE—E 为主;夏季以 $0.3 \sim 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的 NNE—ESE 为主;秋季以 $0.3 \sim 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的 NNE—NE 和 E—ESE 为主;冬季以 $1 \sim 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的 NNE—NE 和 WNW 为主。

(3) 启东中远海工站、丰乐桥四基地站和江宁海事雷达站可以分别作为长江江苏段东段、中段和西段江面雾的预报指标站。

(4) 江面雾在真正的雾体出现前也存在一个“象鼻形”的先期振荡特征,为长江江苏段江面雾的预报提供可靠的依据。

参考文献

- 白永清,陈正洪,陈鲜艳,等,2015.长江山区航道剖面能见度分析及局地影响因素初探[J].长江流域资源与环境,24(2):339-345.
- 陈东辉,尚子澂,宁贵财,等,2017.环渤海地区雾天气分型及预报方法[J].气象,43(1):46-55.
- 陈乾金,江滢,王丽华,1997.长江三峡坝区的大雾分析[J].气象,23(6):28-32.
- 陈正洪,田树青,武泉,等,2014.长江山区航道雾情联合调查考察报告[J].华中师范大学学报(自然科学版),T&S(1):158-163.
- 代娟,陈正洪,田树青,等,2015.长江山区航道雾的时空分布特征分析[J].长江流域资源与环境,24(2):333-338.
- 胡昌琼,田树青,武泉,等,2014.长江山区航道雾情调查问卷分析[J].华中师范大学学报(自然科学版),T&S(1):152-157.
- 焦圣明,朱承瑛,朱毓颖,等,2016.江苏地区一次罕见持续性强浓雾过程的成因分析[J].气象学报,74(2):200-212.
- 钱敏伟,雷孝恩,1990.长江上空辐射雾的数值研究[J].大气科学,14(4):483-489.
- 石红艳,白洁,王洪芳,等,2004.长江下游地区一次冬季辐射雾的数值模拟研究[C]//推进气象科技创新加快气象事业发展——中国气象学会 2004 年年会论文集(下册).北京:中国气象学会.
- 田小毅,吴建军,严明良,等,2009.高速公路低能见度浓雾监测预报中的几点新进展[J].气象科学,29(3):414-420.
- 王博妮,濮梅娟,田力,等,2016.江苏沿海高速公路低能见度浓雾的气候特征和影响因子研究[J].气象,42(2):192-202.
- 王林,陈正洪,代娟,等,2015a.气象因子与地理因子对长江三峡库区雾的影响[J].长江流域资源与环境,24(10):1799-1804.
- 王林,陈正洪,汤阳,等,2015b.长江山区航道雾情等级插值方法研究[J].长江流域资源与环境,24(2):346-352.
- 许爱华,陈翔翔,肖安,等,2016.江西省区域性平流雾气象要素特征分析及预报思路[J].气象,42(3):372-381.
- 俞香仁,苏茂,姚扬苑,1990.长江雾的考察与分析[J].气象,16(1):46-49.
- 袁成松,梁敬东,焦圣明,等,2007.低能见度浓雾监测、临近预报的实例分析与认识[J].气象科学,27(6):661-665.
- 袁娴,陈志豪,2013.上海浦东机场平流雾的统计和监测分析[J].气象科学,33(1):95-101.
- 张家诚,1991.中国气候总论[M].北京:气象出版社.
- 赵玉广,李江波,李青春,2015.华北平原 3 次持续性大雾过程的特征及成因分析[J].气象,41(4):427-437.
- 周福,钱燕珍,金靓,等,2015.宁波海雾特征和预报着眼点[J].气象,41(4):438-446.